

Метод ремонта агрегатов из композиционных материалов с трубчатым (сотовым) наполнителем в полевых условиях

Национальный аэрокосмический университет (ХАИ),
Государственное предприятие «Антонов»

Разработаны конструктивно-технологические решения, технологический процесс для ремонта деталей из КМ с трубчатым (сотовым) наполнителем в полевых условиях. Определен оптимальный комплект технологического оборудования.

Ключевые слова: технологическое решение (ТР), трехслойная структура с трубчатым (сотовым) наполнителем, композиционный материал (КМ), комплект материалов и оборудования для ремонта, неразрушающий контроль (НК), летательный аппарат (ЛА), лакокрасочное покрытие (ЛКП), конструктивно-технологические решения (КТР).

Авиастроение в настоящее время характеризуется быстрым ростом использования композиционных материалов (КМ). Конкурентоспособность этих материалов, по отношению к металлам, в значительной степени зависит от стабильности физико-механических свойств, простоты контроля и ремонта повреждений, возникающих в процессе эксплуатации летательных аппаратов (ЛА).

В реальных условиях эксплуатации деталей из КМ основное внимание уделяется сохранению остаточной прочности конструкции после повреждения. При этом, детали заранее проектируются с прогнозированием распределения нагрузок таким образом, чтобы сохранялась эксплуатационная прочность агрегата (Рис. 1) [1,2].

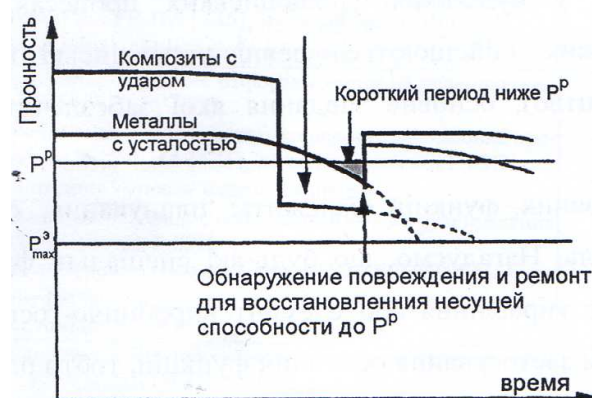


Рис. 1. Остаточная прочность конструкции из КМ по сравнению с металлической

Детали из композиционных материалов, применяемые в изделии, можно условно разделить на три типа по их функциональному назначению: невоспринимающие силовые нагрузки (детали интерьера), воспринимающие силовые нагрузки (панели, балки, узлы) и детали, обладающие термоустойчивостью (крышки капотов, газогенераторов и др.) Эти факторы оказывают решающее значение на определение вида технологического ремонта «косметический или силовой» [3,4].

Существует несколько методов классификации повреждений деталей из КМ. Но общими для них являются такие требования как возможность определения

местонахождения и размера дефекта, скорость его распространения, критерии потери остаточной прочности и информация о причине повреждения [5].

По статистике, для конструкций из КМ существуют несколько методов определения критических размеров повреждений, превышение которых приводит к потере несущей способности. На практике принято несколько уровней допустимости дефектов или повреждений в зависимости от критического размера повреждения. Контроль конструкций из КМ проводится с учетом вероятности возникновения дефектов, либо при визуальном выявлении повреждений. После выполнения ремонтных работ прочность конструкции должна соответствовать нормам расчетной нагрузки. [4,6]. Кроме визуального выявления дефектов, применяются методы неразрушаемого контроля (НК), которые являются более производительными и точными, что немаловажно ввиду растущего применения КМ в самолетостроении.

К неразрушающим методам контроля, основанным на взаимодействии проникающих излучений относятся: метод свободных колебаний «постукиванием молоточком», акустический, радиационный, тепловой, оптический, электрический и радиоволновой. Среди методов контроля многослойных клееных конструкций из КМ, акустический метод занимает преобладающее место. Этот метод основан на взаимодействии упругих колебаний волн широкого диапазона частот с контролируемой деталью или агрегатом. Наиболее применяемым является метод свободных колебаний - простукиванием специальным молоточком в зоне предполагаемого дефекта. Но несмотря на свою доступность, этот метод требует весьма квалифицированного персонала и при этом он является довольно субъективным. Поэтому, с учетом объективности выявления дефекта предпочтительно пользоваться приборами использующими методы ультразвукового или акустического контроля. Они позволяют более точно определить, границы дефекта, и могут находиться на борту ЛА, т.к. имеют небольшие габариты и вес [5,6].

Ремонт, который позволяет восстановить внешний вид поверхности (восстановление теоретического контура) принято называть – «косметическим». Такому ремонту подвергаются детали и обшивки с небольшой зоной распространения дефекта (незначительные царапины, пробоины, проколы, трещины, незначительные отслоения и непроклеи), при этом, они не теряют эксплуатационных свойств. «Силовые» ремонты – это ремонты нагруженных элементов деталей (агрегатов) принимающих участие в передаче нагрузки, а также – ремонт больших зон повреждений (отслоение больших участков обшивки, сквозные пробоины, разрушения сотовых или трубчатых заполнителей) [4,6,7].

Материалы и оборудование для проведения ремонта в полевых условиях должны быть доступны и правильно храниться вне заводских условий (без холодильников и камер с особой атмосферой). Актуальной задачей является разработка технологического процесса для проведения ремонта в «полевых условиях» на уровне заводского обслуживания. При этом, необходимо гарантировать статическую прочность и долговечность конструкции. Оборудование, материалы и технология должны быть типизированы, сертифицированы и должны пройти входной контроль качества.

Целью данной работы является разработка конструктивно-технологических решений (КТР) для ремонта трехслойных трубчатых (сотовых) и монолитных конструкций из КМ, включая выбор оборудования, инструментов и материалов необходимых для ремонта в «полевых» условиях, без демонтажа с изделия.

Результаты опытно-экспериментальных работ

Представленные в статье технология, оборудование и материалы разработаны и рекомендованы для проведения ремонта в полевых аэродромных условиях, непосредственно на изделии, а также для эксплуатирующих организаций, которые зачастую не владеют полной информацией о конструктивных особенностях материалов, из которых изготовлен агрегат ЛА.

Для оценки возможности ремонта в «полевых» условиях с применением клеевых соединений были проведены предварительные экспериментальные работы с использованием существующих технологий, на основании которых было установлено, что наиболее надежным способом является соединение с помощью клея ВК-9 при температуре 60-80 °С и давлении 0,3-0,95кг/см². На образцах полученных на клею ВК-9 в последующем проводились испытания на срез, растяжение и сжатие на установке INSTRON 5582. Сравнения производились с неповрежденными образцами, которые были получены автоклавным формованием на нормативных связующих. Одновременно, проводились испытания клеевых образцов отформованных разными методами на устойчивость к длительному воздействию влаги. Для сравнения показатели прочности (σ_p) оценивались по усредненным данным. (Рис. 2)

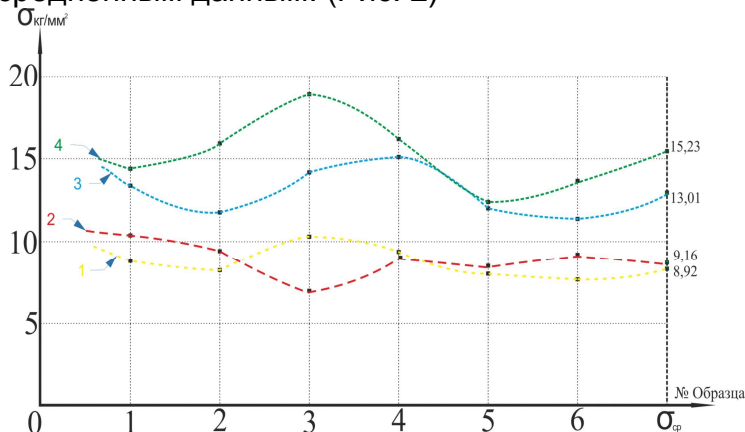


Рис. 2. Результаты разрушающих нагрузок после испытаний образцов на растяжение

1) автоклавно отформованные пластины из стеклопластика Т10-80/СП-97К соединены автоклавно на том же связующем 4-мя слоями /0°,90°, (свежеизготовленные); 2) автоклавно отформованные пластины из стеклопластика Т10-80/СП-97К соединены автоклавно на том же связующем 4-мя слоями /0°,90°, (после влагонасыщения); 3) автоклавно отформованные пластины из стеклопластика Т10-80/СП-97К соединены с помощью термовакuumного оборудования на препреге из ВК-9, 4-мя слоями /0°,90/, (свежеизготовленные); 4) автоклавно отформованные пластины из стеклопластика Т10-80/СП-97К соединены с помощью термовакuumного оборудования на препреге из ВК-9, 4-мя слоями /0°,90/, (после влагонасыщения);

Вариант 1-типовое односрезное нахлестное соединение (базовый вариант). Пластины 1 и 2 предварительно отформованные автоклавным методом, приформованы друг к другу вакуумноавтоклавным методом по режиму связующего СП97-К при помощи четырех слоев препрега Т10-80 на связующем СП97-К, угол укладки /0°,90°, (производственные условия).

Вариант 2-типовое односрезное нахлестное соединение на клее ВК-9 (ремонтный вариант). Пластины 1 и 2 предварительно отформованы автоклавным методом на связующем СП97-К. После этого на пластины были нанесены грунтовка и покраска. После высыхания ЛКП было удалено зачисткой в зоне склейки. Пластина 1 и 2 приформованы при помощи четырех слоев препрега Т10-80 на клее ВК-9, (угол укладки слоев $/0^{\circ};90^{\circ}$) с приложением вакуумного давления от 0,6-0,95 кг/см² и температуре 70°C.

Исследования проводились как на свежизготовленных образцах (с выдержкой 72 часа в условиях лаборатории), так и после влагонасыщения образцов в течении 30 суток в дистиллированной воде при комнатной температуре. В образцах изготовленных по варианту 1, разрушение происходило между отформованными пластинами и слоем препрега СП97-К. В случае варианта 2, разрушение происходило на границе между отформованными пластинами и ремонтными слоями препрега Т10-80 на клее ВК-9. На рисунке 2 представлены значения разрушающих напряжений в соединениях после испытаний образцов на растяжение. Из графика видно что, соединение пластин на клее ВК-9 выдерживает в 1,5 раза большие нагрузки, чем на связующем СП97-К. Следовательно, конструктивно-технологическое решение устранения поврежденных участков в «полевых условиях» даже в случае влагонасыщения, не уступает варианту ремонта в производственных условиях, при этом обеспечивается необходимая эксплуатационная прочность.

Успешно проведенные экспериментальные работы и полученные положительные результаты позволили принять решение о проведении ремонта капота воздушного контура двигателя в реальных условиях, без демонтажа капота с двигателя. Конструктивно крышка капота была выполнена из двух обшивок с трубчатым наполнителем (25X25мм) на высокотемпературном связующем СП97-К и ткани Т10-80 сатинового переплетения. (Рис. 3).

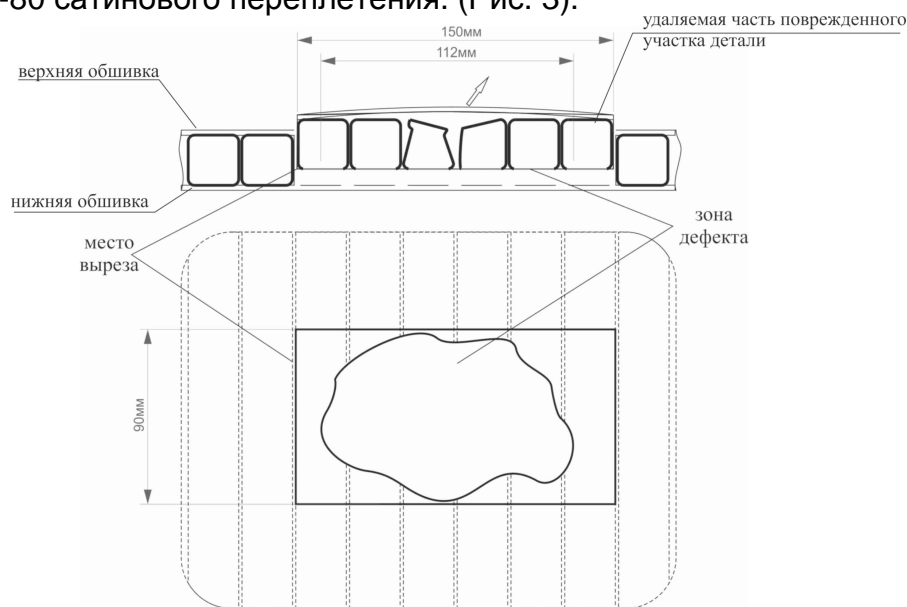


Рис. 3. Схема разметки места повреждения трубчатого (сотового) наполнителя с обшивкой, для последующего ремонта

Методом неразрушающего контроля на крышке было выявлено отслоение наружной обшивки от трубчатого наполнителя, и частичное повреждение трубчатого наполнителя, что могло привести к дальнейшему разрушению

конструкции. Впервые в аэродромных условиях ремонт осуществлялся с помощью автономного ручного компьютеризированного прибора Brisk Heat ACR-3 предназначенного для ремонта в «полевых условиях», (рис.4).



Рис. 4. Ручной компьютеризированный прибор Brisk Heat ACR-3 Hot Bonder и его технические характеристики: а) имеются две зоны контроля; б) напряжение при входе 100-130Вт, 200-240Вт в) диапазон рабочих температур от -20° до +60°; г) давление 27-28 дюймов рт. Ст. (13.26-13.75 PSI); д) возможно ручное регулирование давления для каждой зоны; е) управление температурой отверждения до 300 градусов, имеется 10 входов термопарных датчиков в каждой зоне

На рис. 5 схематично представлена технологическая последовательность ремонта с удалением блока трубчатого заполнителя и установкой блока из пенопласта Rohacell A на клею ВК-9, с обязательным применением двухстороннего вакуумного мешка (ввиду отсутствия оснастки, для сохранения теоретического контура). При этом вставки из пенопласта дренажировались каналами для обеспечения циркуляции воздуха.

Вспененный жесткий пластик с закрытыми порами на основе полиметакрилимиды, **ROHACELL 110A**-предназначен для авиастроения. Сендвичные конструкции с использованием этого пенопласта в качестве материала сердцевины могут быть реализованы в одну стадию. Допускается формование до температуры +180 С. Одной из особенностей является стойкость к органическим растворителям, ксилолам краскам, клеям, топливным компонентам. Соответствует нормам требований АITM 2.0007 по пожарной безопасности. В сочетании с КМ соответствует FAR 25.853, легко обрабатывается высокоскоростными инструментами предназначенными для обработки древесины или пластика. Для склеивания деталей из **ROHACELL 110A** между собой, или с другими материалами могут быть использованы любые реактивные адгезивные системы.

Техпроцесс ремонта проводился в соответствии с технологической схемой представленной на рис. 5.

-Вначале проводится оценка дефектов - визуальный осмотр и проведение неразрушающего контроля агрегата, с последующим нанесением контуров поврежденных мест (границ расслоений рис. 3);

-Определяется местоположение стенок трубчатого заполнителя в зоне ремонта;

-Переносится контур дефекта с наружной стороны на внутреннюю, размечается местоположение границ трубчатого заполнителя, размечается линия

выреза обшивки (рис. 3);

-Удаляется ЛКП с обшивки трубчатого заполнителя и подготавливается поверхность для надежного соединения между первичной структурой и ремонтной;

-Удаляется трубчатый заполнитель с верхней обшивкой;

-Удаляется поврежденный нижний слой;

-Устанавливается прокладка в зоне удаленного слоя;

-Устанавливается пенопласт Rohacell A (заглушки) на клее ВК-9 во внутрь трубчатого заполнителя (рис. 6).

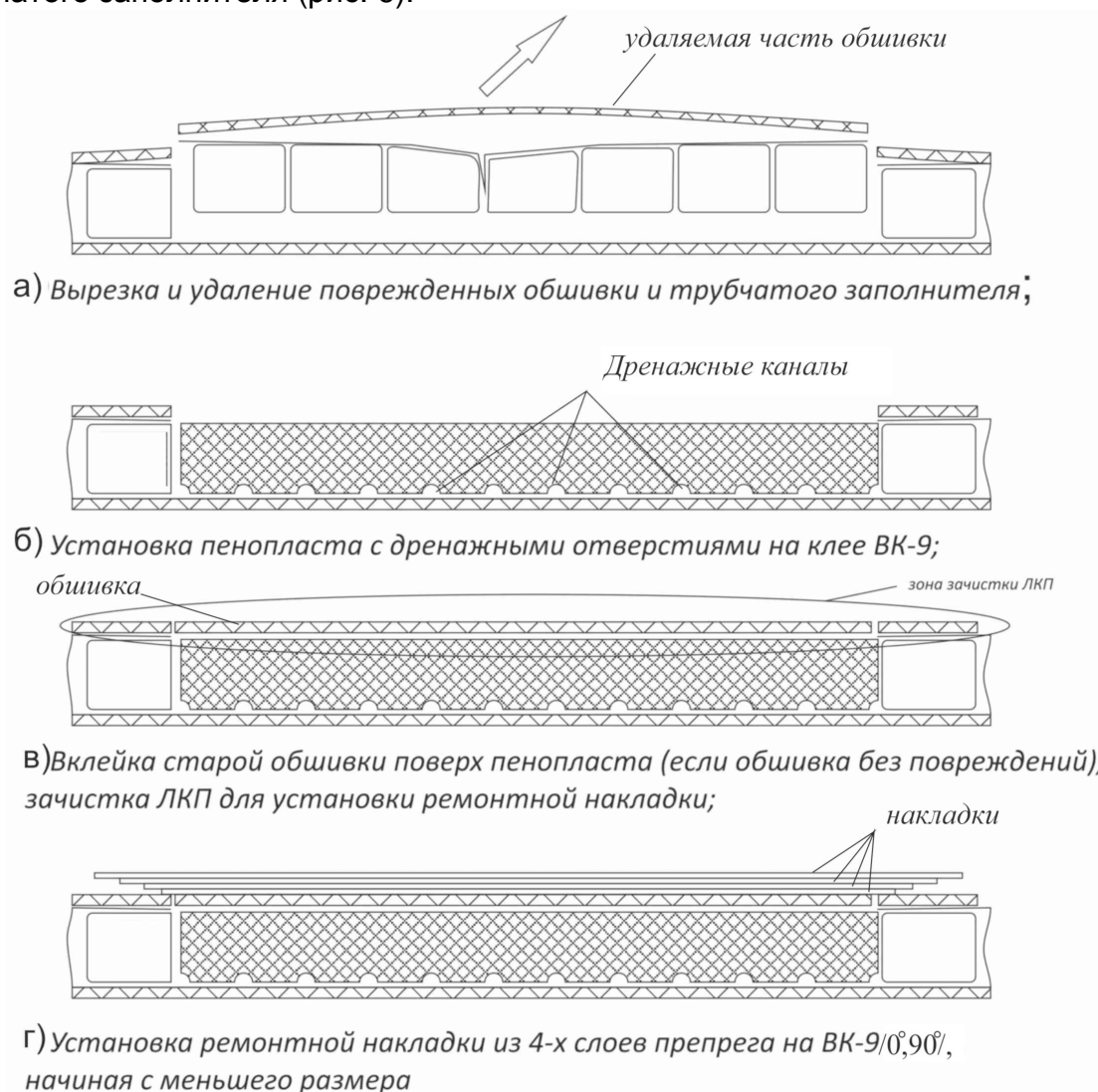


Рис. 5. Схема технологической последовательности выполнения ремонта

После полимеризации «заглушек» (рис. 5) устанавливается пенопласт с дренажными отверстиями вместо удаленного трубчатого(сотового) заполнителя на клею ВК-9.

-Нарастить стеклоткань Т10-80 пропитанную клеем ВК-9 до контуров обшивки, примерно 4 слоя, /0°/90°;

-Установить ремонтную накладку из стеклоткани Т10-80 пропитанную клеем ВК-9 с перехлестом в 20 мм начиная с меньшего слоя 4 слоя /0°/90°(рис.5)

Толщина ремонтной накладки обычно соответствует толщине обшивки конструкции.

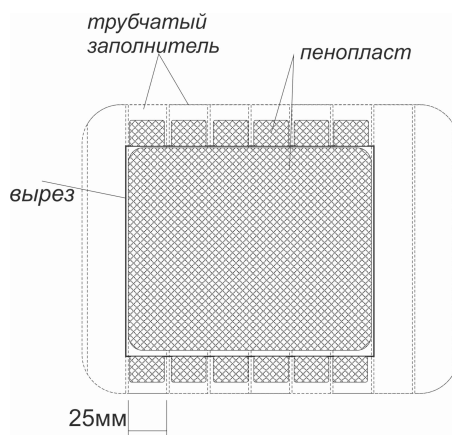


Рис. 6. Конструктивно-технологическая схема установки пенопласта Rohacell A в трубчатый наполнитель

1. На накладку установить терморпары, разделительную пленку, нагревательное одеяло, раскроить и установить вакуумный мешок со штуцерами (рис. 7);

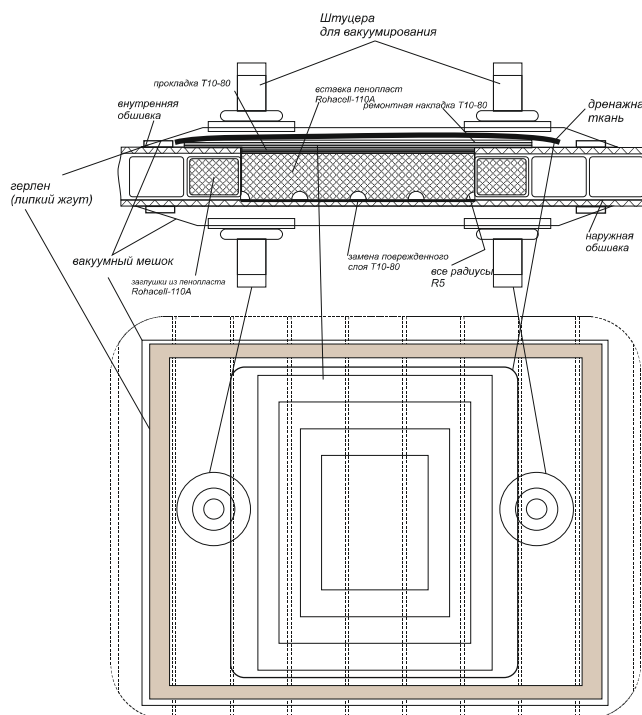


Рис. 7. Технологическая схема установки вакуумных мешков со штуцерами и обогревателем

2. С наружной стороны установить вакуумный мешок со штуцерами в той же зоне, для предотвращения деформации наружной обшивки;

3. Подсоединить к сети аппарат Brisk Heat ACR-3, задать режим для двух зон вакуумирования;

а) для внутренней - температура(70 C), давление - 0,3-0,8 кг/см², время -60 мин.;

б) для наружной – только давление 0,3-0,8 кг/см², время -60 мин.;

-После полимеризации снять мешки, охладить до температуры окружающей среды, ремонтную поверхность зачистить до необходимой шероховатости, восстановить ЛКП.

В процессе выбора ремонтного оборудования прежде всего учитывались следующие требования: функциональное выполнение технологической операции, компактность, минимальный вес, возможность работы в автономном режиме (в полевых условиях). Учитывая эти требования и опыт работы в реальных условиях был определен технологический комплект оборудования в который входят:

- термовакуумный ящик оборудования Brisk Heat ACR-3 Hot Bonder, с набором нагревателей разных размеров, штуцеров, термопар и гибких трубок различной длины (рис. 4);

- алмазный круговой резак Atlas Copco LCS 38 S150-D=125мм (для вскрывания обшивки (рис. 8а);

- угловая шлифовальная машина LSV28 ST13-10E (для зачистки (рис. 8б);

- ультразвуковой дефектоскоп (типа ИД91М (рис. 8в).

- пылесос аккумуляторный Milwaukee M28VC (рис. 8г)

В технологическом комплекте необходимо иметь также: мерительный инструмент, ручные ножи промышленного применения, ножницы, набор наждачной бумаги, кисточки, салфетки, средства индивидуальной защиты.



а) б) в) г)
Рис. 8. Комплект необходимого технологического оборудования для ремонта в полевых условиях

В результате выполненных работ с ремонтными накладками после проверки неразрушающим контролем, не было обнаружено непрочности или других дефектов конструкции, что подтверждает эффективность предложенной технологии.

Выводы

1) Разработаны конструктивно-технологические решения для ремонта деталей из КМ с трубчатым (сотовым) наполнителем в полевых условиях.

2) Разработан технологический процесс для ремонта деталей из КМ с трубчатым (сотовым) наполнителем в полевых условиях.

3) Определен оптимальный комплект технологического оборудования для ремонта деталей из КМ с трубчатым (сотовым) наполнителем в полевых условиях.

Список литературы

1. В.Н. Крысин, М.В. Крысин Технологические процессы формования, намотки и оклеивания конструкций.-М.:Маш-ние,1989.-240с.:ИЛ.
2. Серенсен С.В., Зайцев Г.П. Несущая способность тонкостенных конструкций из армированных пластиков с дефектами.-Киев: Наук. Думка,1982.-296с.
3. ICAS proceedings.17th congress of the international council of the aeronautical sciences. 1990.
4. Кива Д.С.,Двейрин А.З., Василевский Е.Т. Петропольский В.С. Методы ремонта агрегатов планера самолетов из КМ с трубчатым наполнителем.-К.-технологические системы, №2(63)/2013.-с.57-64.
5. Технологическая инструкция ТИ59-1005-11. Ремонт сотовых конструкций из алюминиевых сплавов и полимерных КМ.-К.:2011. 65с.
6. Карпусенко Б.Ф. Ремонт конструкций из КМ.-К.:В сб.:Техника, экономика, информация. Сер."Техника и технология", Вып.2. 1985. с.28-33.
7. Астанин В.В., Глова О.В., Шевчук О.А. Эксплуатационные повреждения элементов конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов и методы их ремонта.-К.-Технологические системы, №4, 2011.-с.46-52.

Рецензент: д.т.н. проф. О.В. Мамлюк,
Киевский авиационный техникум, г. Киев

Поступила в редакцию 14.02.2014

Метод ремонту агрегатів з композиційних матеріалів з трубчастим (стільниковим) заповнювачем в польових умовах

Розроблено конструктивно – технологічні рішення, технологічний процес для ремонту деталей з КМ з трубчастим (стільниковим) заповнювачем в польових умовах. Визначено оптимальний комплект технологічного обладнання.

Ключові слова: технологічне рішення (ТР) , тришарова структура з трубчастим (стільниковим) заповнювачем, композиційний матеріал (КМ), комплект матеріалів і устаткування для ремонту , неруйнівний контроль (НК) , літальний апарат (ЛА) , лакофарбове покриття (ЛКП) , конструктивно - технологічні рішення (КТР).

Method of Repairing of Assemblies Made of composite Materials with Tubular (Honeycomb) Filler under Field Conditions

Design and technology solutions, production processes used for repair of parts made of CM with tubular (honeycomb) filler under field conditions are developed. The optimal set of process equipment is defined.

Keywords: technological solution (TS), three-layer structure with tubular (honeycomb) filler, composite material (CM), set of materials and equipment for repair, non-destructive testing (NDT), aircraft (LA), paint coating, constructively technological solutions.